

# Modèles Modelica de centrales de cogénération

Baligh EL HEFNI

Benoît BRIDE

## Modèles de fonctionnements thermohydrauliques en régime permanent de centrales : MiraFiori et biomasse Multi-configuration

# Sommaire

## **Modèles de fonctionnements thermohydrauliques en régime permanent de centrales : MiraFiori et biomasse Multi-configuration**

- 1. Objectifs**
- 2. La Modélisation 0D/1D à EDF R&D**
- 3. Besoins EDF en modélisation 0D/1D à l'échelle système**
- 4. Présentation de l'outil Dymola**
- 5. Bibliothèque d'équipements « CentraleDenergie »**
- 6. Modèle Mirafiori**
- 7. Modèle biomasse Multi-configuration**
- 8. Conclusions**

# Objectifs

## Les objectifs d'un lot du projet CENEC sont :

- Développer une **bibliothèque** des modules des matériels de production d'énergie,
- Valider la bibliothèque des modules des matériels sur le cas d'étude de **Mirafiori**, et **biomasse**
- Évaluer les capacités fonctionnelles du logiciel **Dymola/Modelica** pour les études du fonctionnement des centrales d'énergies

# La Modélisation 0D/1D à EDF R&D

## Le langage Modelica est utilisé à EDF R&D :

- Pour la modélisation en régime **dynamiques** et **permanent**,
- Pour la modélisation des centrales **nucléaires**, à **combustible fossile** et les **énergies renouvelables**,
- Pour les centrales **existantes** et  **futures**
- Avec l'outil **Dymola**,
- **Dymola** remplace peu à peu notre outil maison, appelé **LEDA**,
- C'est notre référence pour la connaissance physique des équipements des centrales d'énergie.

# Besoins EDF en modélisation 0D/1D à l'échelle système

## (1/2)

### Ingénierie

- Capitaliser les connaissances de l'entreprise sur le fonctionnement des composants des process,
- Simuler le fonctionnement de la tranche pour différentes conditions de fonctionnement,
- Évaluer la performance globale d'une tranche (étudier les interactions entre les différents composants),
- Optimiser les performances d'une centrale,
- Comparer différentes solutions pour le remplacement d'un équipement (quantifier le gain ou la perte de performance),
- Évaluer et analyser les nouveaux designs proposés par les constructeurs.

### Exploitation

- Améliorer la connaissance/le réglage du point de fonctionnement,
- Simuler le fonctionnement de la tranche pour différentes conditions de fonctionnement, avant l'action de conduite,
- Évaluer l'efficacité d'une opération de maintenance,

## Besoins spécifiques au domaine ThF

- Optimiser de façon globale les performances énergétiques et environnementales,
- Préparer, suivre et analyser des essais de réception (systèmes de dépollution de tranches charbon),
- Quantifier l'impact des moyens de réduction des polluants sur les services système,
- Intégrer les modèles (LEDA, Modelica) dans des outils d'exploitant ou d'ingénierie (E-monitoring).

## Besoins spécifiques au domaine nucléaire

- Étudier l'impact de l'augmentation de la puissance primaire,
- Étudier et comprendre l'origine de certains phénomènes gênants (colmatage GV, déséquilibres de boucles (Couplage 3D) ),
- Simuler les transitoires importants (suivi de charge, arrêts, démarrages, îlotage, perte TPA)

# Présentation de l'outil Dymola (1/2)

## Les caractéristiques principales de l'outil

### Dymola (Dynamic Modeling Laboratory) :

- Modulaire,
- Les équations des modules sont écrites sous forme mathématique en Langage « Modelica »,
- Il gère les discontinuités et les événements (calcul transitoire),
- Possibilité d'échanger des informations avec d'autres outils (Excel, Matlab, Simulink...),
- Un outil unique pour la simulation des process et du contrôle commande,
- Calculs inverses (recalage de modèles).

# Présentation de l'outil Dymola (2/2)

## Les caractéristiques principales du langage

### Modelica :

- Equationnel (*déclaratif*),
- Non propriétaire (*open source*),
- Orienté objet,
- Multi-domaines (*thermohydraulique, mécanique, électrique, automatique, contrôle commande...*),
- Indépendant des outils.
- Facilite les échanges de modèles et les coopérations techniques.



# Bibliothèque Centrale D'énergie (1/3)

## Modules

## Modèles Centrale

## Valorisation Chaleur

→ Bâches Volume

→ Bâche, ballon et Volume

→ Capteurs

→ Capteur (débit, température, pression) et Source (P,H)

→ Chaudières

→ Chaudière à gaz et chaudière électrique

→ Combustion

→ Chambre de combustion TAC, Postcombustion Gaz et Four

→ Conditions Aux Limites

→ Conditions Aux Limites (P, Q, H, T, .....)

→ Échangeurs

→ Échangeurs (Eau-Vapeur, ORC), Aérocondenseur, tube écran, .....

→ Hydraulique

→ Clapet, perte de charges (frottement singulières), Vanne

→ Machines

→ Pompe centrifuge, turbine (Eau-Vapeur, ORC), turbine à gaz, compresseur

→ Mélangeur Répartiteur

→ Mélangeurs et Répartiteurs

→ Divers

→ Divers

# Bibliothèque CentraleDenergie (2/3)

- ✓ La bibliothèque « *CentraleDenergie* » contient maintenant plus de 50 modules élémentaires 0D/1D entièrement statiques (équations algébriques) décrivant la physique de chaque matériel,
- ✓ Une amélioration continue de la physique des modules existants par intégration des résultats de recherches en cours.

## Les propriétés thermophysiques

### Les tables fumées

Les propriétés thermophysiques des fumées sont calculées à partir des tables “MONOMELD” (table « maison » en Fortran existante sous LEDA),

### Les tables de l'eau vapeur

Toutes les propriétés de l'eau vapeur sont calculées à partir des polynômes définis par la norme IAPWS-IF97

# Modèle Mirafiori (1/7)

Dans le cadre du partenariat entre EDF R&D et FENICE (exploitant des centrales d'énergies du groupe FIAT ), le modèle MiraFiori a été réalisé sous Dymola grâce à la bibliothèque de modules « CentraleDenergie ».

La centrale MiraFiori est la centrale la plus complexe du parc de FENICE.

## **La centrale est composée de 6 unités de production :**

- 1 cycle eau vapeur HP alimenté par 3 chaudières à gaz,
- 1 cycle eau vapeur MP alimenté par 4 chaudières à gaz,
- 2 cycles combinés,
- 2 turbines à gaz avec chaudière de récupération.

# Modèle Mirafiori (2/7)

**Le modèle complet a été développée en reliant les modules élémentaires de manière technologique.**

**Le modèle de la centrale Mirafiori, comprend plus de :**

- **400 modules élémentaires,**
- **9500 variables,**
- **1900 équations non triviales.**

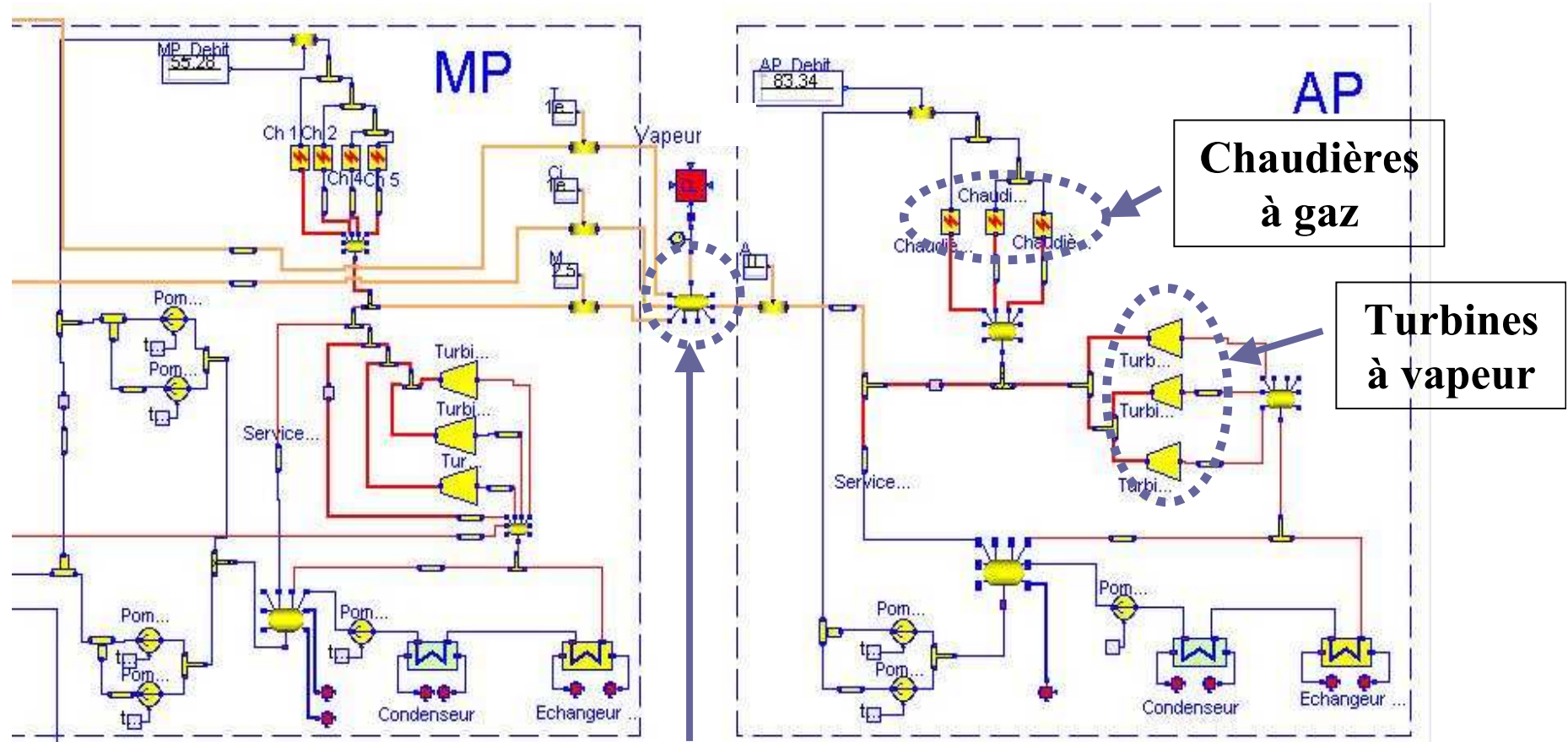
**Le modèle converge très rapidement (quelques secondes), à condition que les variables d'itération ( $\cong 5\%$  de toutes les variables) soient correctement initialisées par l'utilisateur.**

# Modèle Mirafiori (3/7)

## Modèle DYMOLA de la centrale de MiraFiori

Cycle eau vapeur MP

Cycle eau vapeur HP

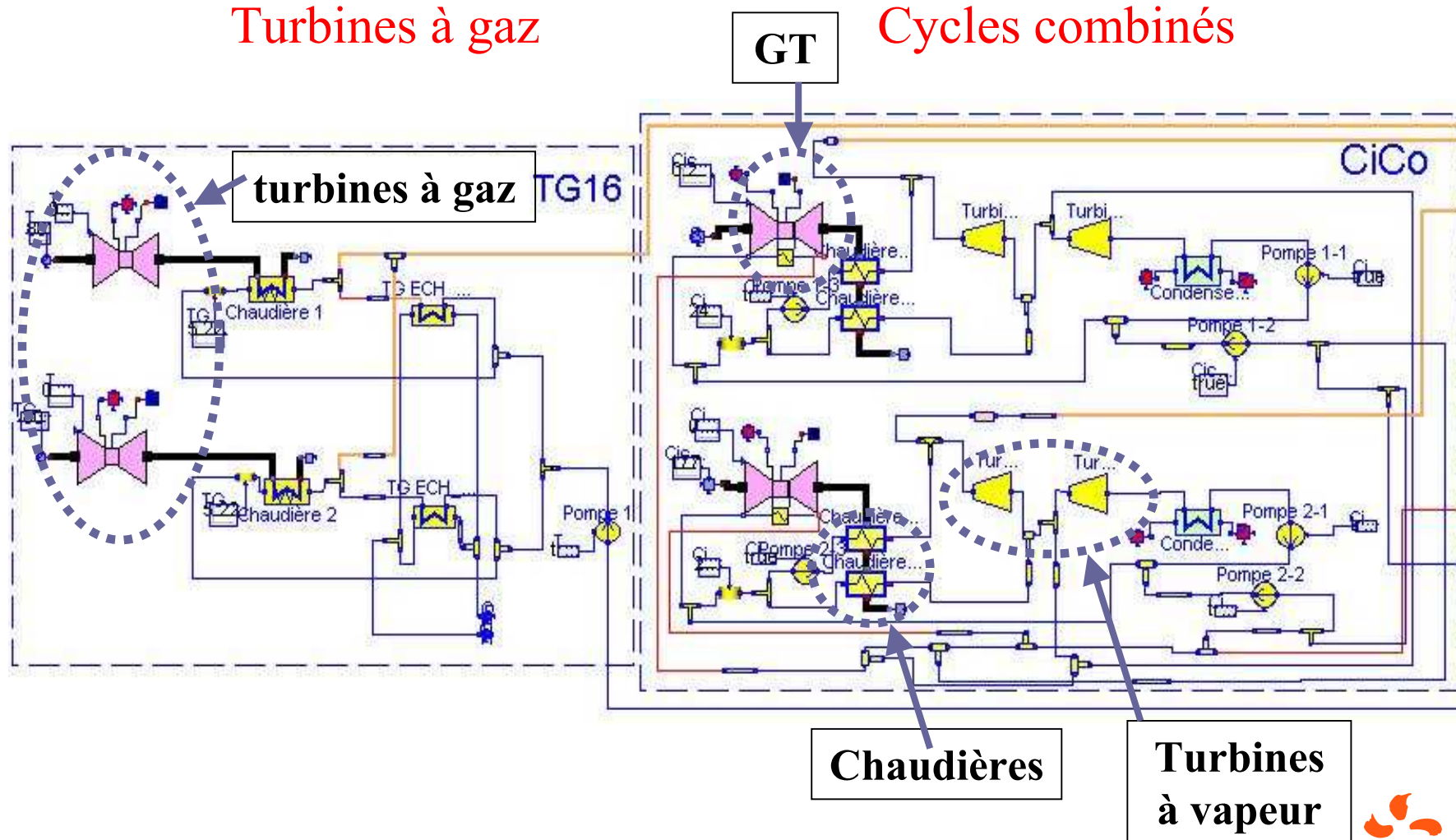


# Modèle Mirafiori (4/7)

## Modèle DYMOLA de la centrale de MiraFiori

Turbines à gaz

Cycles combinés



# Modèle Mirafiori (5/7)

## Calage du modèle

La phase de calage consiste à imposer au modèle les valeurs des certaines variables de sortie (données mesurées sur site) et l'outil calcule certaines entrées (paramètres internes).

### **Le calage nous permet de calculer :**

- Chaudières : les débits de combustible, les débits d'eau, les débits d'air, les coefficients de perte de charge coté eau/vapeur,
- Turbines à vapeur : les coefficients de Stodola, les rendements,
- Échangeurs : les coefficients de perte de charge,
- Pompes : les caractéristiques,
- Turbines à gaz : les rendements turbine, les rendements compresseurs, les taux de compression et taux de détente.

Etc.



# Modèle Mirafiori (6/7)

**Après calage, le modèle nous a permis de déterminer :**

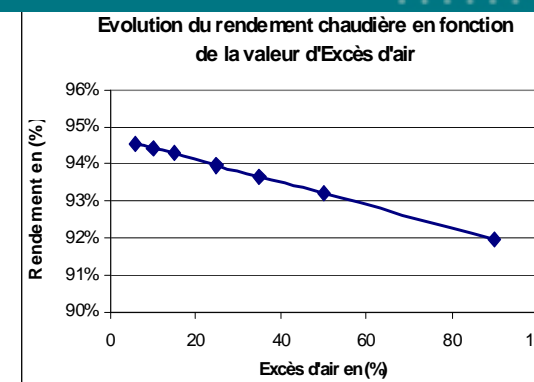
- Les performances des équipements (par exemple rendement de la chaudière),
- Les rendements globaux des cycles eau-vapeur,
- Les gains ou les surcoûts liés aux variations des conditions de fonctionnement de l'unité (pression de condenseur, la température d'échappement, l'excès d'air, les coefficients d'encrassement...),
- Les courbes de corrections (nécessaires pour alimenter l'outil PILOT de planification optimale).

# Modèle Mirafiori (7/7)

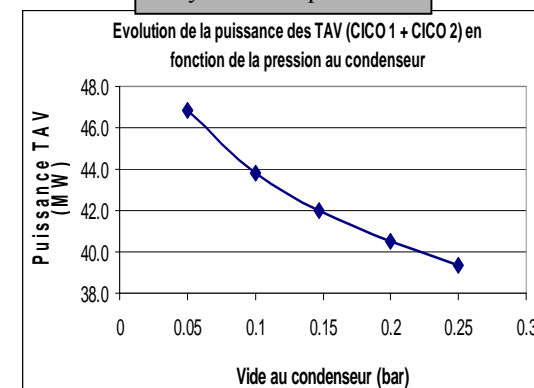
## Résultats de la simulation

Les résultats des simulations ont été utilisés principalement pour :

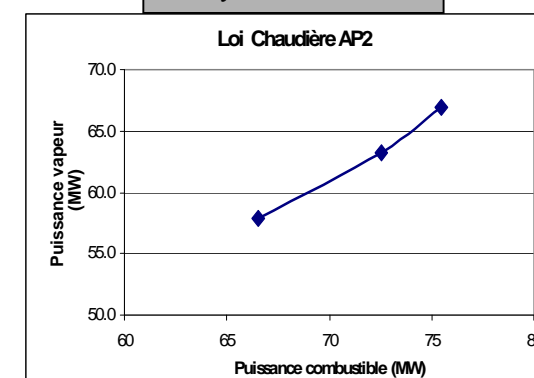
1. Évaluer les économies de combustible lorsqu'on change le point de fonctionnement (amélioration de la conduite de la centrale),
2. Fournir des fonctions simplifiées (courbes de corrections) qui représentent le comportement thermo-hydraulique de la centrale (nécessaires pour réaliser les calculs d'optimisation de l'exploitation de la centrale à l'aide de l'outil R&D «PILOT»)



Cycle eau vapeur HP



Cycles combinés



Courbe de correction

# Modèle biomasse Multi-configuration (1/6)

**La création du modèle a été lancée afin d'aider un client EDF R&D à répondre à un appel d'offres pour une unité de cogénération biomasse,**

**L'objectif est de trouver la meilleure configuration de centrale satisfaisant les critères suivants :**

- Rendement moyen annuel (vapeur + électricité) > 50% ;**
- La centrale doit satisfaire la demande de vapeur du client (habituellement un industriel) à toute heure;**
- Consommation annuelle de biomasse fixe (ressource calibrée);**
- Le temps de retour sur investissement est le plus bas possible.**

# Modèle biomasse Multi-configuration (2/6)

## Problématique

L'efficacité moyenne annuelle dépend de :

- La configuration du cycle eau-vapeur;
- La configuration du réchauffeur d'air;
- La demande de vapeur;
- La puissance nominale de la centrale.

Le temps de retour sur investissement dépend de (en plus des paramètres précédents) l'énergie électrique produite (et vendue).

 **Un modèle Modelica en régime permanent peut fournir les réponses**

# Modèle biomasse Multi-configuration (3/6)

**Le modèle est créé en utilisant la bibliothèque des modules « *CentraleDenergie* ».**

**Le modèle contient :**

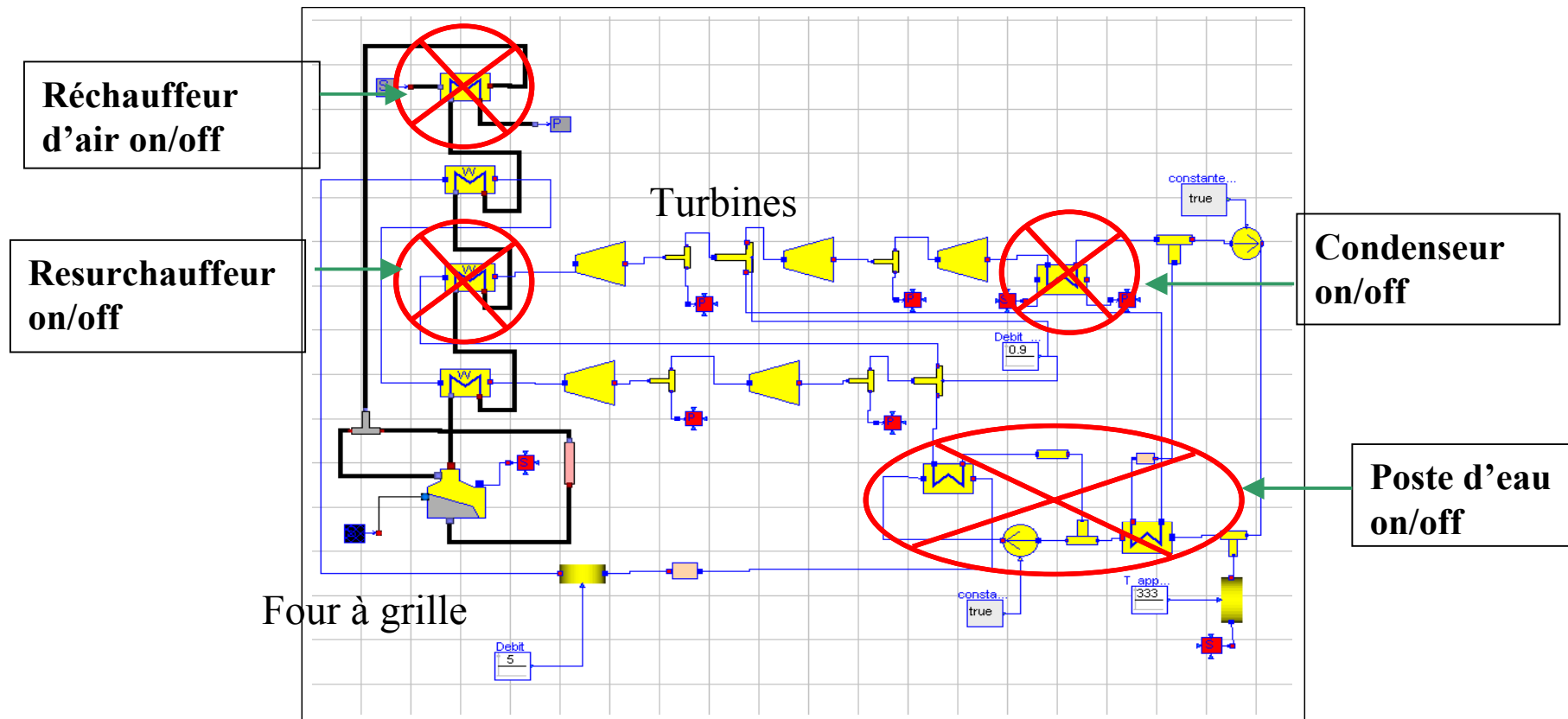
- **96 modules élémentaires,**
- **2162 variables,**
- **460 équations non triviales.**

**Il peut simuler 16 ( $4^2$ ) configurations différentes :**

- **avec ou sans le réchauffeur d'air,**
- **avec ou sans resurchauffeur,**
- **avec ou sans sans réchauffeurs d'eau (poste d'eau),**
- **avec ou sans le condenseur.**

# Modèle biomasse Multi-configuration (4/6)

## Modèle DYMOLA de la centrale biomasse



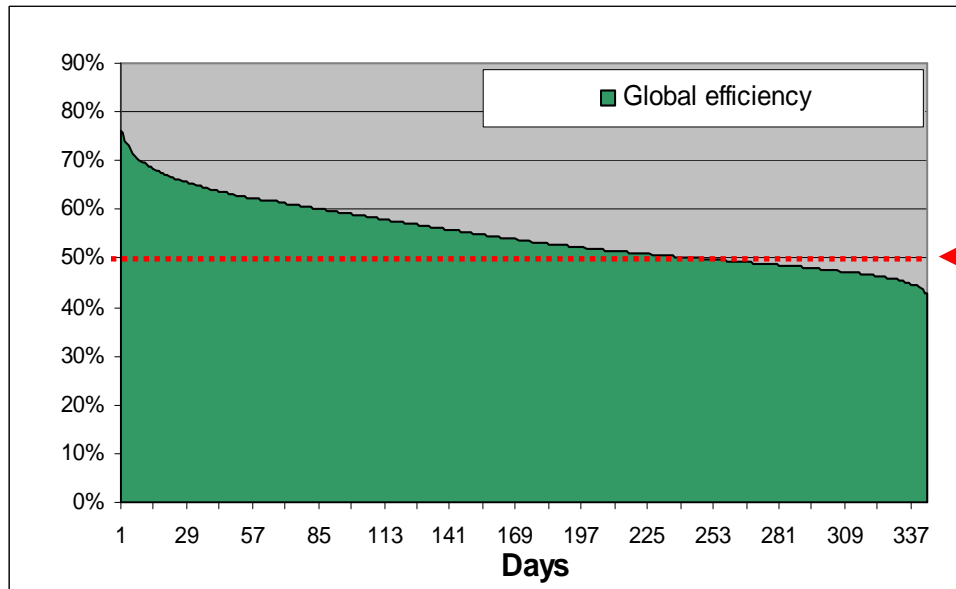
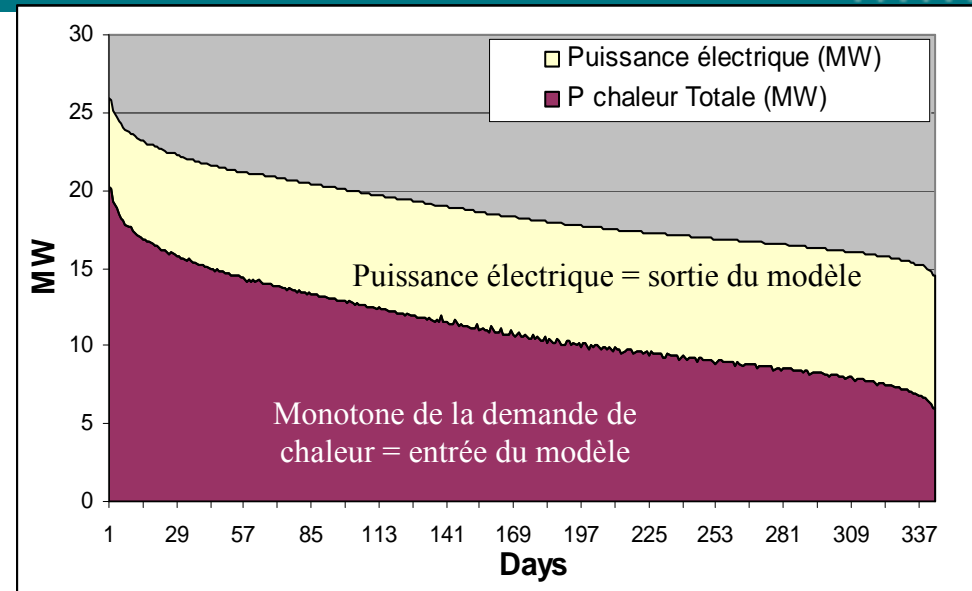
# Modèle biomasse Multi-configuration (5/6)

## Résultats fournis à notre client :

- **Calculs inverses** : le rendement globale de différentes configurations de centrale ;
- **Calculs prédictifs** : le rendement et la puissance électrique pour les différentes configurations et les différentes tailles de l'installation (puissance nominale) pour une courbe annuelle de demande de vapeur;
- **Fichier exécutable** : avec le modèle Modelica/Dymola utilisable sous Excel.

# Modèle biomasse Multi-configuration (6/6)

**Calculs prédictifs pour un cas (une seule configuration de la centrale et une puissance nominale donnée):**



50 %  
Rendement  
minimal





# Conclusions

Le développement de la bibliothèque des modules a permis de démontrer l'aptitude du langage Modelica à modéliser des phénomènes physiques complexes. Cette bibliothèque sera utilisée pour les objectifs suivants :

- Proposer à l'intégrateur de services énergétique un ensemble d'outils (méthode, modèles et interface facile à utiliser) permettant de réaliser rapidement des calculs thermohydrauliques sur les centrales existantes ou/et future.
- Fournir des modules élémentaires pour les autres projets ou bibliothèques.

# Références

- [1] **D. Bouskela (HP-12/03/041/A )**  
**Bibliothèque Modelica thermohydraulique,**  
**Structure et recommandations de conception**
- [2] **Modelica Association → <http://www.modelica.org>**
- [3] **Dymola → <http://www.dynasim.se>**